






DEVICE/METHOD FOR TRANSMISSION ROUTE WEIGHT

Patent number: JP10117162
Publication date: 1998-05-06
Inventor: NICHOLAS UINNETTO
Applicant: MOTOROLA LTD
Classification:
 - international: H04B7/08; H01Q3/26; H04B1/76; H04B7/005; H04B1/04
 - european: H01Q3/26; H01Q3/26C; H04B1/12A2; H04B7/06C1F
Application number: JP19970141040 19970515
Priority number(s): GB19960010428 19960517; GB19960010357 19960517

Also published as:

 EP0807989 (A1)
 US5999826 (A1)
 EP0807989 (B1)
 RU2141168 (C1)
 HU218636 (B)

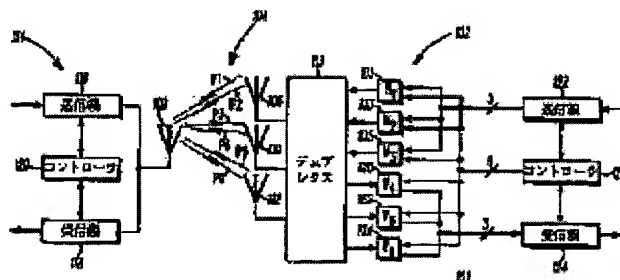
more >>

[Report a data error here](#)

Post Available Copy

Abstract of JP10117162

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide improved antenna array weight by controlling a transmitter and adjusting weight related to an antenna in accordance with weight information received from the other communication equipment. **SOLUTION:** The output of the transmitter 122 is connected to transmission route weight circuits 131, 133 and 135 and the transmission route weight circuits 131, 133 and 135 are connected to one of the antennas 106, 110 and 112 through a duplex circuit 113. The transmission route weight circuits 131, 133 and 135 weight signals outputted by the transmitter 122 in accordance with a control signal received from a controller 126. The signals outputted by the transmitter 122 can be connected to the transmission route weight circuits 131, 133 and 135 by respective conductors or lines and therefore they can respectively receive the signals or they can be connected by the common conductor or line. Thus, the transmission route weight circuits 131, 133 and 135 can receive the same signals.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Reference |

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-117162

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月6日

(51) Int. Cl. ⁴	識別記号	F I	
H 0 4 B 7/08		H 0 4 B 7/08	D
H 0 1 Q 3/26		H 0 1 Q 3/26	Z
H 0 4 B 1/76		H 0 4 B 1/76	
	7/005	7/005	
// H 0 4 B 1/04		1/04	Z
審査請求 未請求 請求項の数41 F D (全 19 頁)			

(21) 出願番号 特願平9-141040

(22) 出願日 平成9年(1997) 5月15日

(31) 優先権主張番号 9 6 1 0 4 2 8 . 6

(32) 優先日 1996年5月17日

(33) 優先権主張国 イギリス (GB)

(31) 優先権主張番号 9 6 1 0 3 5 7 . 7

(32) 優先日 1996年5月17日

(33) 優先権主張国 イギリス (GB)

(71) 出願人 592012849

モトローラ・リミテッド

MOTOROLA LIMITED

イギリス国ハント州、ベイジングストーク、パイアブルズ・インダストリアル・エステイト、ジェイズ・クローズ、アールジ

ー22 4ビーディ

(72) 発明者 ニコラス・ウィンネット

フランス国、パリ 75004、リュ・ド・

ラ・サリゼ 7

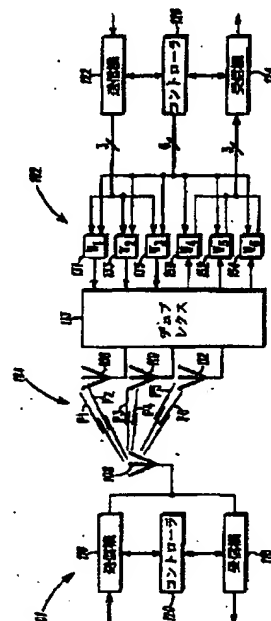
(74) 代理人 弁理士 池内 義明

(54) 【発明の名称】 送信経路重みのための装置および方法

(57) 【要約】

【課題】 送信機のための改善されたアンテナレイ重みを提供する。

【解決手段】 受信通信装置101は送信通信装置102のアンテナレイの少なくとも1つのアンテナ106, 110, 112を介して送信された基準信号を受信する。受信通信装置は前記少なくとも1つのアンテナに関連すべき重みを決定し、かつ重み情報を送信通信装置に送信する。送信通信装置は受信通信装置から受信された重み情報にしたがって前記少なくとも1つのアンテナに関連する重みを調整する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の通信装置における送信経路のための第2の通信装置における重みの発生方法であって、前記第1の通信装置における送信経路はアンテナを有するアンテナアレイを含み、前記方法は、

前記アンテナアレイのアンテナの内の少なくとも1つを介して送信された基準信号を第2の通信装置において受信する段階、

前記第2の通信装置において送信経路に対する少なくとも1つの重みを計算する段階、そして前記少なくとも1つの重みを前記第2の通信装置から前記第1の通信装置に送信する段階、

を具備する第1の通信装置における送信経路のための第2の通信装置における重みの発生方法。

【請求項2】 前記計算する段階は前記第2の通信装置において受信された前記基準信号の振幅および位相の複素共役を計算する段階を含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記計算する段階は1組の所定の重みから前記少なくとも1つの重みを選択する段階を含み、前記選択される少なくとも1つの重みは前記複素共役に最も近い重みであることを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】 前記送信する段階は前記少なくとも1つの重みに対応するインデックスを送信する段階を含むことを特徴とする請求項3に記載の方法。

【請求項5】 前記計算する段階は1組の所定の重みから前記少なくとも1つの重みに対する信号測定推定値を得る段階、および該信号測定推定値から前記少なくとも1つの重みを選択する段階を含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項6】 前記1組の所定の重みは前の重みに基づき選択されることを特徴とする請求項3または5に記載の方法。

【請求項7】 さらに、前記第2の通信装置から1組の重みを受信しかつ前記第2の通信装置から受信された1組の重みから少なくとも1つの重みを選択する段階を含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項8】 前記選択する段階は前記第1の通信装置におけるアンテナアレイの組合わされた出力において前記送信経路の性能を推定する段階を含むことを特徴とする請求項3、請求項5または請求項7に記載の方法。

【請求項9】 前記少なくとも1つの重みは前記第1の通信装置の受信機において決定されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項10】 前記1組の重みにおけるインデックスは記憶されたエラー保護コーディングを含み、かつ前記送信する段階はエラー保護コーディングされたインデックスを送信する段階を含むことを特徴とする請求項7に記載の方法。

【請求項11】 アンテナアレイのアンテナに関連する送信経路における少なくとも1つの重みを設定するために通信装置を動作させる方法であって、

前記アンテナアレイにおけるアンテナの各々を介して基準信号を送信する段階、

前記アンテナの各々に対する重み情報を受信する段階、そして前記受信された重み情報にしたがって前記アンテナに関連する送信経路の少なくとも1つにおける重みを設定する段階、

を具備することを特徴とするアンテナアレイのアンテナに関連する送信経路における少なくとも1つの重みを設定するために通信装置を動作させる方法。

【請求項12】 前記重み情報は位相情報を含むことを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項13】 前記重み情報は振幅情報を含むことを特徴とする請求項11または12に記載の方法。

【請求項14】 前記重み情報は前記送信経路に対する重みに対応するインデックス番号を含むことを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項15】 第1の通信装置の送信経路を重み付けする方法であって、前記送信経路は前記第1の通信装置のアンテナアレイと送信機との間にあり、前記アンテナアレイは複数のアンテナを含み、前記方法は、

前記アンテナアレイにおけるアンテナを介して第2の通信装置に基準信号を送信する段階、

前記第2の通信装置において前記送信経路に対する少なくとも1つの重みを計算する段階、

前記計算された少なくとも1つの重みにしたがって、重み情報を前記第2の通信装置から前記第1の通信装置に送信する段階、そして前記第2の通信装置から受信した重み情報にしたがって前記第1の通信装置において少なくとも1つの重みを設定する段階、

を具備することを特徴とする第1の通信装置の送信経路を重み付けする方法。

【請求項16】 前記計算する段階は第2の通信装置において前記第2の通信装置への前記基準信号の送信の間の振幅および位相変化の複素共役を計算する段階を含むことを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項17】 前記計算する段階は1組の所定の重みから前記少なくとも1つの重みを選択する段階を含み、前記選択された少なくとも1つの重みは前記複素共役に最も近い前記所定の組における重みであることを特徴とする請求項16に記載の方法。

【請求項18】 前記送信する段階は前記少なくとも1つの重みに対応するインデックスを送信する段階を含むことを特徴とする請求項17に記載の方法。

【請求項19】 前記計算する段階は1組の所定の重みから前記複素共役に最も近い少なくとも1つの重みを選択する段階を含み、かつ前記送信する段階は前記選択された少なくとも1つの重みに対応するインデックスを送信

する段階を含むことを特徴とする請求項17に記載の方法。

【請求項20】 前記計算する段階は1組の所定の重みにおける重みに対する信号測定推定値を得、かつ前記信号測定推定値から前記少なくとも1つの重みを選択する段階を含むことを特徴とする請求項19に記載の方法。

【請求項21】 前記基準信号は前記アンテナの各々を介して個々に送信されることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項22】 前記基準信号は前記アンテナアレイの各アンテナを通して送信され、かつ前記アンテナの各々に対する基準信号は区別可能であることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項23】 前記アンテナの各々に対する基準信号はそれらの周波数によって区別可能であることを特徴とする請求項22に記載の方法。

【請求項24】 前記アンテナの各々に対する基準信号は時間によって区別可能であり、前記基準信号は異なる時間にそれぞれのアンテナに入力されることを特徴とする請求項22に記載の方法。

【請求項25】 1組の所定の重みが前記第1の通信装置から前記第2の通信装置に転送されることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項26】 さらに前の重みを決定する段階を含みかつ前記計算する段階は前記1組の所定の重みにおける重みの部分集合から選択を行ない、該重みの部分集合は前記前の重みにおける重みから決定されることを特徴とする請求項25に記載の方法。

【請求項27】 前記計算する段階は前記第1の通信装置においてアンテナアレイの組合わされた出力における送信経路の性能を推定する段階を含むことを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項28】 さらに、前記第1の通信装置の受信機において少なくとも1つの重みの内の1つの重みを決定する段階を含むことを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項29】 前記所定のリストに関するインデックスは記憶されたエラー保護コーディングを含み、かつ前記送信する段階はエラー保護コーディングされたインデックスを送信する段階を含むことを特徴とする請求項25に記載の方法。

【請求項30】 通信装置であって、送信機、複数のアンテナ、前記アンテナの各々と前記送信機との間に接続された重み回路、そして前記重み回路に結合されたコントローラであって、該コントローラは前記アンテナの少なくとも1つを介して基準信号を送信するよう前記送信機を制御しかつ他の通信装置から受信された重み情報にしたがって前記アンテナの少なくとも1つに関連する重みを調整

するよう前記重み回路の内の少なくとも1つを制御することによって、前記重み回路を含む送信経路が前記少なくとも1つのアンテナを通して送信された基準信号にしたがって変えることができるようにするもの、を具備することを特徴とする通信装置。

【請求項31】 さらに、所定の重みを記憶するためのメモリを含み、前記重み情報は前記少なくとも1つのアンテナに関連する重みに関連するインデックス番号を含み、かつ前記コントローラは前記インデックス番号から前記重み回路の少なくとも1つを制御することを特徴とする請求項30に記載の通信装置。

【請求項32】 前記重み情報は位相情報を含み、前記コントローラは該位相情報にしたがって前記重み回路の少なくとも1つを制御することを特徴とする請求項30に記載の通信装置。

【請求項33】 前記重み情報は振幅情報を含み、前記コントローラは該振幅情報にしたがって前記重み回路の少なくとも1つを制御することを特徴とする請求項30に記載の通信装置。

【請求項34】 受信通信装置であって、送信通信装置における複数のアンテナの各々を介して送信された基準信号を受信する受信機、各々のアンテナから受信された前記基準信号から前記送信通信装置の送信経路に対する少なくとも1つの重みを計算するための回路、そして前記送信通信装置に対し前記少なくとも1つの重みを送信するための送信機、を具備することを特徴とする受信通信装置。

【請求項35】 前記受信機はコードブックを格納するメモリを含み、該コードブックは前記送信通信装置の送信経路に対するコードブック重みを含むことを特徴とする請求項34に記載の受信通信装置。

【請求項36】 前記コードブック重みはコードブックインデックスに関連し、かつ該コードブックインデックスはエラー訂正コーディングを含むことを特徴とする請求項35に記載の受信通信装置。

【請求項37】 前記メモリは前の選択の重みを記憶し、かつ前記回路は前記コードブックおよび前記前の重みを使用して前記少なくとも1つの重みを計算することを特徴とする請求項35に記載の受信通信装置。

【請求項38】 前記重みは前記送信経路におけるピーク電力を制限するよう選択されることを特徴とする請求項35または36に記載の受信通信装置。

【請求項39】 前記コードブックは前記コードブックが送信通信装置におけるコードブックと同じであることを調べるため検査されることを特徴とする請求項36に記載の受信通信装置。

【請求項40】 前記コードブックは受信通信装置および送信通信装置の内の一方から送信通信装置および受信通信装置の内の他方のものへコードブックを送信することにより検査されることを特徴とする請求項39に記載

の通信装置。

【請求項41】 前記回路は重みおよび位相値を受信された基準信号からおよび前記受信通信装置における基準信号の写しから計算することとを特徴とする請求項34に記載の通信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はアンテナアレイに関する。

【0002】

【従来の技術】 アンテナアレイは無線通信リンクを通して無線周波(RF)信号を通信するために使用される複数のアンテナを有する。アンテナアレイはあるカバレッジエリアに対し良好なアンテナパターンを提供することによって単一のアンテナに対して改善された性能を提供する。

【0003】 アンテナアレイにより改善されたアンテナパターンを提供できるものの、通信装置の間で通信される信号は妨害を受けやすい。建物、丘および他の物体がマルチパス波伝搬を生じさせ、かつ通信装置およびエネルギー源はノイズを導入し、結果として通信装置の間で通信される信号にエラーを生じさせる。

【0004】 これらのエラーを低減するため、アンテナアレイを使用する通信装置の受信経路を最適化するための技術が開発されている。前記アレイにおける個々のアンテナの各々によって検出される信号の重み(weight)を変えることにより、特定の方向からより良好に信号を検出したまたはマルチパス信号の非破壊的(non-destructive)組み合わせを可能にするためにアンテナパターンを変えることが可能になる。これらの技術は受信機の出力を測定することにより受信経路利得を最大にするためにアンテナアレイ信号の重みを調整する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、受信経路から得られる重みは送信経路に対して最適の重みを提供しない。

【0006】 従って、送信機のための改善されたアンテナアレイ重みを提供することが望ましい。

【0007】

【課題を解決するための手段】 通信装置はアンテナアレイのアンテナと送信機との間に接続された重み回路を含む。コントローラが該重み回路に結合されかつ少なくとも1つのアンテナを通して基準信号を送信するために前記送信機を制御しかつ他の通信装置から受信された重み情報に従って前記少なくとも1つのアンテナに関連する重みを調整し、それによって送信経路が前記少なくとも1つのアンテナを通り送信される基準信号に従って変えることができるようになる。

【0008】 本発明の他の実施形態は送信通信装置にお

ける複数のアンテナの各々を通して送信された信号を受信する受信通信装置を含む。回路が各アンテナから受信された前記基準信号から他の通信装置の送信経路に対する少なくとも1つの重みを計算する。該少なくとも1つの重みは他の通信装置に通信される。

【0009】 前記送信通信装置を動作させる方法もまた開示される。前記受信通信装置を動作させる方法もまた開示される

【0010】

【発明の実施の形態】 図1の通信装置100は通信リンク104を介して通信する通信装置101および通信装置102を含む。通信装置101は無線モデム(変調器/復調器)、セルラ無線電話、コードレス無線電話、2方向無線機、ページャ、ベースまたはベースステーション、あるいは任意の他の通信装置とすることができる。通信装置102は通信装置101に対して相補的な(complementary)通信装置であり、かつ無線モデム(変調器/復調器)、セルラ無線電話、コードレス無線電話、2方向無線機、ページャ、ベースまたはベースステーション、あるいは任意の他の通信装置とすることができる。ここで使用されている「通信装置」はこれらの各々およびそれらの等価物に言及している。

【0011】 通信リンク104はマルチパス伝搬を受け得る可能性のある無線周波無線リンクである。従って、経路またはパスP1およびP2は通信装置102の第1のアンテナ106と通信装置101のアンテナ108との間の2つの信号経路を表す。通信経路P3およびP4はアンテナ110およびアンテナ118の間に伸びている。通信経路P5およびP6はアンテナ112とアンテナ108との間に伸びている。アンテナ106、110および112の内のいずれか1つおよびアンテナ108の間の通信経路の実際の数は2より小さくても良くあるいは大きくても良いことは理解されるであろう。

【0012】 通信装置101はアンテナ108に接続された送信機116および受信機118を含む。送信機116および受信機118はコントローラ120によって制御される。送信機116は無線通信のための任意の適切な商業的に入手可能な送信機を使用して実施される。受信機118は無線通信のための任意の適切な商業的に入手可能な受信機を使用して実施される。コントローラ120はマイクロプロセッサ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、プログラマブル論理ユニット(PLU)、その他を使用して構成される。送信機116および受信機118はアンテナ108に接続され該アンテナを介して信号を送信しかつ受信する。

【0013】 通信装置102は送信機122、受信機124およびコントローラ126を含む。コントローラ126はマイクロプロセッサ、デジタル信号プロセッサ、プログラマブル論理ユニット、コンピュータその他を使用して構成できる。コントローラ126は送信機122

および受信機124の動作を制御する。送信機122は無線通信のための任意の適切な商業的に入手可能な送信機を使用して実施される。受信機124は無線通信のための任意の適切な商業的に入手可能な受信機を使用して実施される。

【0014】送信機122の出力は送信経路重み回路131、133および135に接続されている。該送信経路重み回路の各々は次にデュプレクス回路113を介してアンテナ106、110および112の内のそれぞれの1つに接続されている。送信経路重み回路はコントローラ126から受信された制御信号に従って送信機により出力される信号を重み付けする。送信機によって出力される信号はそれぞれの導体または線路によって送信経路重み回路131、133および135に接続することができ、それによって各々がそれぞれの信号を受信することができるようにされ、あるいは共通の導体または線路によって接続され、前記送信経路重み回路がすべて同じ信号を受信するようにすることができる。

【0015】受信機124の入力は前記受信経路重み回路150、152および154の出力に接続されている。受信経路重み回路の各々はデュプレクス回路113を介してアンテナ106、110および112の内のそれぞれの1つからそれぞれの信号を受ける。

【0016】デュプレクス回路113は任意の適切なデュプレクス装置、スイッチ回路、フィルタ、その他を使用して実施できる。デュプレクス回路113はアンテナを送信および受信経路に接続してフルデュプレクスまたはハーフデュプレクス動作を提供する。

【0017】前記送信経路重み回路131、133および135は図2により詳細に示されている。前記送信経路重み回路131は位相シフト回路230および可変利得増幅器236を含む。前記送信経路重み回路133は位相シフト回路232および可変利得増幅器238を含む。前記送信経路重み回路135は位相シフト回路234および可変利得増幅器240を含む。もし前記重みが信号の位相の変化のみを必要とする場合は前記可変利得増幅器に代えて固定利得増幅器を利用することができる。前記位相シフト回路230、232および234の各々は独立に制御され、従って前記アンテナはそれらに入力される独立の位相信号を有する。前記増幅器の各々はコントローラ126によって独立に制御される。信号の利得および位相を調整する他の手段は当業者に理解さ

れるであろう。例えば、信号レベルはソフトウェアの制御の下にデジタル信号プロセッサによって調整されかつ定利得増幅器を通して出力することもできる。

【0018】可変利得増幅器236、238および240は各々それぞれのスイッチ250、252および254を通してそれぞれのアンテナ106、110および112へと選択的に接続される。前記スイッチはそこから送信/受信情報を受けるためにコントローラ126に接続される。送信モードにおいては、前記スイッチは図2に示されるように接続される。受信モードでは、アンテナ106、110および112が受信経路重み回路150、152および154に接続される。

【0019】前記受信経路重み回路150、152および154は各々コントローラ126から制御信号を受ける。前記受信経路重み回路の各々は個別に制御される。前記受信経路重み回路150、152および154の出力は受信機124に入力される。コントローラ126は知られたアルゴリズムに従って重み係数 (weighting factors) W_4 、 W_5 および W_6 を調整する。一般に、コントローラ126は受信機124の出力に応答し前記係数 W_4 、 W_5 および W_6 の各々をに調整して受信信号品質を最適化する。受信信号経路は典型的には受信振幅または電力を最大にすることにより、あるいはノイズブラス妨害に対する所望の信号の比率の評価または推定値を最大にすることにより最適化される。

【0020】コントローラ126は位相シフト回路230、232および234に対する位相信号を発生し、かつメモリ160に記憶された所定の値に従って可変利得増幅器236、238および240の利得を制御する。以下の表、またはここで使用される「コードブック (codebook)」、は3つのアンテナ106、110および112を含む送信経路に対する重みを示す。利得および位相並びに等価複素表記が与えられている。これらの例においては、 $\alpha = 1/(6)^{1/2}$ および $\gamma = 1/(3)^{1/2}$ である。16のベクトルにより、メモリ160は3つのアンテナに対する以下の値を記憶し、インデクスまたはベクトル番号を左の欄に、かつ3つの送信経路重み回路131、133および135に対する重み W_1 、 W_2 および W_3 を他の欄に有している。

【0021】

【表1】

ベクトル番号	w_1 (利得、位相)	w_2 (利得、位相)	w_3 (利得、位相)
0	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)
1	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)
2	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)
3	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)
4	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)
5	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)
6	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)
7	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)
8	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)
9	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)
10	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)
11	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)
12	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -135^\circ$)
13	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$-\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 135^\circ$)
14	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha-j\alpha$ ($\gamma, -45^\circ$)
15	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)	$\alpha+j\alpha$ ($\gamma, 45^\circ$)

この表は位相シフトのみを表している。これは送信信号の位相が調整されかつ可変利得増幅器236、238および240の利得は調整されないことを意味する。デジタル位相調整の構成に対しては、複素ベースバンドデジタル信号は上の複素数によって乗算される。2⁴ベクト

ルがあるから、ベクトルに対するインデックスを特定するのに4ビットが必要である。

【0022】より大きな値の表も使用できる。次の表2は31の重みの組合わせを与える。

【表2】

ベクトル番号	w_1 (利得、位相)	w_2 (利得、位相)	w_3 (利得、位相)
0	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$
1	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$
2	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$
3	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$
4	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$
5	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$
6	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$
7	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$
8	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$
9	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$
10	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$
11	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$
12	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha-j\alpha (\gamma, -135^\circ)$
13	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$-\alpha+j\alpha (\gamma, 135^\circ)$
14	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha-j\alpha (\gamma, -45^\circ)$
15	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$	$\alpha+j\alpha (\gamma, 45^\circ)$
16	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$
17	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$
18	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$-\beta+j\beta (\beta, 180^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$
19	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0-j\beta (\beta, -90^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$
20	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$
21	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0+j\beta (\beta, 90^\circ)$
22	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$-\beta+j\beta (\beta, 180^\circ)$
23	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0-j\beta (\beta, -90^\circ)$
24	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$
25	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$-\beta+j\beta (\beta, 180^\circ)$
26	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0+j\beta (\beta, 90^\circ)$
27	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$\beta+j\beta (\beta, 0^\circ)$	$0-j\beta (\beta, -90^\circ)$
28	$1+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$
29	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$1+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$
30	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$0+j0 (\beta, 0^\circ)$	$1+j0 (\beta, 0^\circ)$

この表においては、 $\beta = 1 / (2)^{1/2}$ であり、かつ利得および位相が共に調整されアンテナの幾つかへの送信経路はしばしば完全にディスユーブルされその場合利得値は0である。ベクトルに対するインデックスを特定するために5ビット (2^5 の異なるベクトル) が必要とされる。これらの表は例として与えられており、かつ網羅的なものではない。他の大きさを有する表も規定でき、かつ同じ数のエントリを有する異なる表も使用できる。

【0023】前記利得および位相の値の各々は異なるアンテナパターンを生じさせる。可変利得増幅器の利得、および位相を変えることにより、アンテナパターンは変更することができる。アンテナパターンを変えることにより、アンテナアレイはベースのカバレッジエリア内の異なる地理的ロケーションに位置する遠隔の通信装置に対しより良好な性能を提供でき、あるいは遠隔の通信装置にベースステーションと通信するためのより良好な位置を提供することができる。

【0024】動作においては、ブロック300 (図3)

に示されるように、コントローラ126は通信装置101との通信リンクを始めに確立したことに応じて所定の値に従って送信経路W1、W2およびW3の重みを設定する。例えば、前記初期重みは前の接続からの最後の重みW1、W2およびW3とすることができ、前記初期重みは最も広いカバレッジエリアを有するアンテナパターンに対応する重みとすることができ、あるいは受信経路に対して計算された重みW4、W5およびW6が送信経路に対する初期重みW1、W2およびW3として使用できる。前記アンテナ重みは可変利得増幅器236、238および240の利得および位相シフト回路230、232および234の位相を設定することができ、あるいは位相シフト回路の位相のみを設定することができる。

【0025】通信の間に、情報パケットは送信機122によって、ブロック302に示されるように、通信装置101に送信される。他の通信装置101は送信機122から送信された信号を受信しかつACKノレッジメント信号または肯定応答 (ACK) またはノンACKノレッジ

メント信号または否定応答 (NACK) を、技術的に知られているように、前記信号が正確に受信されたか否かに応じて送信し戻す。典型的には各々の情報パケットと共に合計検査 (checksum) または巡回冗長検査 (CRC) データが送信される。もしCRCまたは合計検査が実際に受信された情報パケットから生成されなければ、NACK信号が受信機124に送信される。

【0026】もしコントローラ126が、ブロック304に示されるように、肯定応答信号を受信すれば、次の情報パケットが送信される。もしNACKのようなエラー信号が、ブロック306に示されるように、通信装置101から受信されれば、コントローラ126はブロック308において新しいアンテナ重みW1、W2およびW3を選択する。これはアンテナパターンが変えられるように重みW1〜W3を変更する。新しい重みは、前記表1または表2に表される、メモリ160に記憶されたコードブックにおける次のベクトル番号に関連する重みとすることができる。

【0027】コントローラ126は、判断ブロック310において、次のアンテナパターンが最近他の通信装置101からのエラー信号を経験したものであるか否か (例えば、新しいアンテナ重みが最後にまたは最近に使用された時に他の通信装置からNACKが受信されたか否か) を判定する。所定の期間をコントローラ126に設定することができる。コントローラ126はこの所定の期間内にそれがエラー信号を受けた場合に重みを選択することを許容しないであろう。これはコントローラ126が接続品質がいずれの重みもエラーのない接続を提供しないものである場合に各パターンを通して急速に循環する (cycling through) のを防止する。

【0028】もしエラーメッセージが受信されれば、コントローラ126は、判断ブロック312において、送信機122を情報を再送信するよう制御する。コントローラ126は次にブロック304に戻り他の通信装置からの肯定応答信号またはエラー信号を待機する。

【0029】判断ブロック304および306は通常の送信プロセスの間に生じるエラー信号による割込み開始によって実行できることが理解される。従って、それらの間の符号化およびインタリーブと共に、パケットのバッファリング、ならびに変調および送信は通信装置102の継続している (ongoing) プロセスとすることができる。NACKのような、エラー信号の検出に応じて、コントローラ126は重みW1、W2およびW3を変えるために送信を短時間の間中断する。送信プロセスは次に再開される。

【0030】重みW4、W5およびW6がコントローラ126によって受信機124により出力される信号に基づき調整されることも理解されるであろう。そのような重み付けの方法は技術的に良く知られている。

【0031】本発明は特にGSM通信システムのような送信および受信経路が異なる周波数を有する通信システムにおいて有利である。そのような環境では、受信経路重み回路150、152および154による受信経路の重みは必ずしも送信経路重み回路131、133および135による送信経路に対する最適の重みを示していない。これは伝搬遅延、妨害または干渉、および他の周波数に敏感な現象による。

【0032】他の重要な考慮事項は通信装置101および102がお互いに対して移動する速度またはレートである。もし通信装置101が高速で進行しており、かつ通信装置102が静止していれば、伝搬経路P1〜P6は急速に変化する。他の時間には、通信装置101および102はお互いに関して移動していないかもしれない。これは歩行者の状況において当てはまり、その場合はセルラ電話のユーザが静止して立っているかあるいは電話呼の間に歩いている状況である。そのような歩行者の状況では、前記経路P1〜P6は低いレートで変化しているかあるいは全く変化しない。

【0033】通信装置101および102の一方または双方は好適に該通信装置101および102がお互いに対して移動している速度を決定することができる。例えば、変化の速度を決定するためにドップラ測定を使用できる。コントローラ126は変化の速度の情報を使用して位相および振幅の設定を変えるべきか否かを決定する。より詳細には、本発明は特に通信装置101および102が低速で移動しているかあるいはお互いに対して移動していない場合に都合がよく、それはこれらの状況ではNACKの受信における遅延は性能に対し最も少しの害しか与えないからである。これらの状況では、アンテナパターンの選択は呼の間の電話の性能にかなりの影響を与える可能性がある。これはユーザに最善のサービスを行うアンテナパターンは変化しないという事実による。さらに、悪いアンテナパターンはその呼にわたり望ましくない状態に留まっている傾向にある。

【0034】通信装置101が高速で進行する車両内にある状況においては、通信装置101に最善のサービスを行うアンテナパターンを生成する重みは急速に変化する可能性がある。従って、エラー信号が受信されるたびごとにアンテナパターンを変えることは通信システム100の性能における実質的な改善を生じる結果とはならない。さらに、ある瞬間にうまく作用しない重みは少しの後に最善の選択となる可能性があり、これは結果として重みW1、W2およびW3の急速な切替えを生じさせる。速度の影響はもちろんシステムの設計、特にパケットの送信とNACKの受信との間の遅延、に依存する。

【0035】利得および位相値を記憶するメモリ160は最も最近に使用されたアンテナパターンのテーブルを記憶することができる。エラー指示を生じる結果となったパターンは所定の期間の間使用されないことが好まし

い。該所定の期間は好ましくは通信装置101および102がお互いに対して移動している速度に従って調整可能である。従って、通信装置101および102が別々に移動していない場合は、前記期間は通信装置101および102の全接続時間に等しくすることができる。あるいは、受信装置101および102がお互いに対して急速に移動している場合は、前記期間は非常に短く、あるいはゼロにすることができる。いずれの場合にも、前記所定の期間は前にエラーを生じる結果となったかつチャネルが大きく変化しなければ依然として悪い性能を提供する重みベクトルの再選択を防止するためチャネルの相関時間 (correlation time) より大きくすべきである。

【0036】上の実施形態の利点は通信装置100が他の通信装置の助けなしに重みを変えることである。従って、重み調整回路は現存の機器を更新することなく現存のシステムにおいて実施できる。

【0037】他の実施形態によれば、通信装置102によって信号が送信され送信経路重み回路131、133および135を決定し該決定は通信装置101において行われる。この実施形態につき図4および図5を参照して説明する。コントローラ126は、ブロック400に示されるように、アンテナ106に供給される基準信号を発生するために送信機122を制御する。該基準信号はトーンまたは任意の他の適切な信号とすることができる。

【0038】前記基準信号はアンテナ106に対し可変利得増幅器238および240の利得をゼロの利得を有するように制御しかつ可変利得増幅器236を非ゼロ利得を持つよう制御することによって供給される。コントローラ126は送信機122を制御して、ブロック404に示されるように、トーン信号をアンテナ110に出力させる。該トーンをアンテナ110にのみ供給するために、可変利得増幅器238の利得のみが非ゼロの値を有する。コントローラ126は、ブロック406に示されるようにアンテナ112にトーン信号を出力するために送信機122を制御する。該トーンをアンテナ112のみに供給するため、可変利得増幅器240の利得のみが非ゼロの値を有する。

【0039】従って、所定のトーンが各々のアンテナに異なる時間に入力される。あるいは、異なる周波数の信号が同時に各アンテナ106、110および112に入力されてもよく、または異なるコードを有する信号が同時に各アンテナに入力されてもよい。しかしながら、これら3つの手段のいずれによっても、各アンテナに供給される信号は通信装置101によって区別可能でなければならない。

【0040】送信機122は送信機122から送信経路重み回路131、133および135へと伸びているパスの3つのそれぞれの導体を通して送信経路重み回路1

31、133および135に接続できることが理解されるであろう。これは各々のアンテナに対して送信機122によって発生された異なる信号が個々に送信経路重み回路に印加できるようにする。

【0041】コントローラ126は判断ブロック408に示されるように受信機124において重み信号を受信するのを待機する。コントローラ126はあるいは重み信号が受信された時に標準的な送信動作から割込みを受けることができる。いずれの場合でも、新しい重みが通信装置101から受信された時、コントローラ126は送信経路重み回路131、133および135の重みを、ブロック410に示されるように、通信装置101から受信された値に変更する。もし通信装置101からインデックスが受信されれば、コントローラ126は該インデックスに関連する重みをメモリ160内のコードブックから選択しかつそれに従って送信経路重み回路131、133および135を制御する。

【0042】通信装置101の動作につき図5を参照して説明する。コントローラ120はブロック500、502および504においてアンテナ106、110および112の各々を介して送信された基準信号を受信する。それぞれのアンテナ106、110および112に関連する信号は、図4に関して前に説明したように、時間的に分離されているが、もしそれらが異なる周波数を有する場合はそれらの周波数によって識別することもでき、あるいはもしそれらが異なる符号を有していればそれらの符号によって識別することもできる。コントローラ120はこのようにして各アンテナによって送信された基準信号を識別する。

【0043】コントローラ120は、ブロック506に示されるように、各々のアンテナ108、110および112に対する受信信号レベルに基づき送信経路重み回路131、133および135に対する最適の重みを計算する。最適の重みベクトルが受信された信号利得および位相から計算できる。各々のアンテナからの推定または評価された利得および位相の複素表現の複素共役が各アンテナの重みとして使用できる。各アンテナに対する推定または評価された利得および位相はコントローラ120によって受信された基準信号をコントローラ120に記憶された前記所定の基準信号の局部的コピー (local copy) と相関することにより得られる。これらの信号の間の相関の結果はアンテナ106、110および112の各々からの送信経路の推定された利得および位相を示す。

【0044】あるいは、前記コードブックを使用して候補のリストから好ましい重みベクトルを選択することができる。これは前記推定された受信位相および利得の複素共役から計算される最適の重みベクトルに最も近いベクトルをコードブックから選択することによって行うことができる。あるいは受信通信装置において受信信号電

力を最大にするよう好ましい重みベクトルが選択される。

【0045】電力を最大にする重みはコードブックから計算できる。すでに述べたように、各々のアンテナから送られる基準信号の利得および位相は受信機において元の送信された基準信号の知られた局部的コピーによる相関によって推定される。重みベクトルは次に以下のようにして選択される。

【表3】

```
t = |w0T0|
index = 0

do k=1 to K-1

    if |wkT0| > t then
        index = k
        t = |wkT0|
    end if

end do
```

この場合、i番目のアンテナ（アンテナ1、アンテナ2およびアンテナ3）から受信された信号の推定されたまたは計算された利得および位相はc_iによる複素表記によってかつ全てのアンテナに対する組（set）はベクトル_cによって表わされ、かつ所定のリストにおけるk番目の重みベクトルは_{w_k}であり通信装置102のメモリ160内にかつ通信装置101のコントローラ120内に記憶されたリストにはKのベクトルがある。|*|は複素数*の大きさを表わす。また、*Tはベクトルまたはマトリクス*の転置（transpose）を

表わし、行および列が相互交換される。

【0046】なお、各表または数式などにおいて、ベクトルなどを表わすために下線を有するアルファベットが使用されているが、明細書の説明文中ではアルファベットの前に下線記号“ ”を配置したものを使用して表わしている。

【0047】この方法はインデックスコードブックの各ベクトルの重み_{w_k}および各々のアンテナc_iに対する重みおよび利得の計算値または推定値を乗算しかつその結果を加算してその特定の重みに対する一時的な振幅測定値tを発生する。これは前記特定の重みが送信機において適用されれば受信されるであろう信号の振幅の推定値または計算値である。最大のt（受信機における最も高い推定振幅）に関連するインデックスは通信装置102の送信経路に対する最適の重みとして選択される。該最適の重みに関連するインデックスが次に、ブロック508に示されるように、通信装置102に送信し戻される。

【0048】シミュレーションにより前記コードブック手法は適切な正規化および候補ベクトル分布が使用された場合に複素共役受信利得および位相の量子化手法より

もダウンリンクに関して容量オーバーヘッドの要求が少ないことが示された。さらに、コードブックのエントリは以下の利点を提供するよう選択できる。信号がアンテナの1つより多くを介して放射されるように重みを選択することにより、単一のアンテナの送信経路が全ての電力を渡すことを要求されない。これは各々の経路における送信回路に対する個々の増幅器のピーク電力要求に対する制限を与え送信経路の1つが全ての電力を渡さなければならない可能性があるシステムに対しコストおよび計法的な利点を提供する。

【0049】さらに、前記ルックアップテーブル、またはコードブック、は合計検査またはCRC情報のようなエラー保護コーディングを容易に可能にするため使用できる。エラー保護コーディングはインデクス情報と共にセーブされ、かつエラー保護コーディングの計算を要求することなく送信できる。これは送信機のエラー保護符号化の複雑さを低減する。

【0050】ルックアップテーブルの他の利点は各々のフレーム時間に評価された候補の重みベクトルが最も最近のフレームに対する重みベクトルに最も近いものとする

ことができることである。これは低い速度が最適の重みベクトルをゆっくりと変化させる歩行者の環境に対するサーチの複雑さを低減し、それは前の重みが良好な選択を維持する傾向にあるからである。しかしながら、コントローラはまた前の選択の重みに最も近い重みが不満足である場合はコードブックの全ての重みを考慮することができる。

【0051】コードブックが使用される場合、通信装置101および102は同じ値を持たなければならない。これは通信装置の1つからのコードブックを他の通信装置へダウンロードすることにより達成できる。あるいは、ベクトル番号の値が両方の通信装置において同じであることを確認するために他の方法も使用できる。

【0052】図6を参照すると、情報パケットおよび基準信号の双方が通信装置102から通信装置101へ送信されることが分かる。基準信号は各々のアンテナから、代わるがわる、別個に送信される。係数を計算するために通信装置101において情報が処理されている時間と通信装置101において特定された重みベクトルが通信装置102によって使用される時間との間に遅延がある。通信装置102は次に通信装置101から受信された重みを使用して情報パケットを送信する。

【0053】情報パケットが送信される度ごとに、基準信号がアンテナ106、110および112から送信され、かつ通信装置101において次のパケットに対する新しい重みが計算される。フィードバック系における遅延の影響を最小にするため、前記基準信号は情報パケットと隣接しないよう配置することができ、この場合前記基準信号は通信装置102によって前記係数を使用して送られる情報パケットにより近くなる。あるいは、前記

基準信号は情報パケット内に配置することもできる。前記遅延を最小にしたりは除去するためにいずれの方法を使用しても前記基準信号は通信された後に生じるチャネルにおける変動から生じる問題のある通信を避けることができる。

【0054】また、コントローラ120は2つのパケットの情報と共に送信される基準信号から発生される重みからアンテナに対して重みを補間したりは差しはさむことができる。2つの引き続く、間隔をあけた基準信号から係数を発生することにより、送信経路の特性の変化を最善の信号パターンを決定する上で考慮に入れることができる。

【0055】デジタルセルラ電話システム700 (図7)の送信モードは第1の通信装置702および第2の通信装置704を含む。通信装置702はアンテナアレイ706を含みかつ通信装置704はアンテナアレイ708を含む。これらのアンテナアレイはPで表わされる複数の信号経路によって相互接続されている。通信装置702および704は2方向無線機、無線電話およびベースステーション、その他とすることができる。

【0056】通信装置702はコントローラ714を含み、該コントローラ714は音声およびデータ信号ならびに送信経路における重みW1、W2およびW3を選択するために制御信号を出力する。音声およびデータ信号はコーディングおよび変調回路716に入力される。重み制御信号は利得および位相シフト回路718に入力され、該利得および位相シフト回路718はコントローラ714からの振幅および位相制御信号を可変利得増幅器720~722および位相シフト回路724~726に結合する。送信信号はフレーミングおよび基準発生回路723を介して位相シフト回路724~726に入力される。

【0057】フレーミングおよび基準発生回路723はデータおよび音声を送信のためにフレーミングまたはフレームに構成しかつ基準信号を位相シフト回路724~726に結合し、これはアンテナ728~730の各々に対し1つずつ結合される。それぞれのベースバンド信号は、各々のアンテナに対し1つずつ、フレーミングおよび基準発生回路723によって形成され、かつ位相シフト回路724~726によって各々に対し適切な位相シフトが加えられる。

【0058】位相シフト回路724~726はデジタル的に乗算器によって提供され、したがってコードブックからの複素値が前記フレーミングおよび基準発生回路の出力によって乗算され位相シフトを生成することができる。位相シフト信号はデジタル-アナログ変換回路732においてアナログ信号に変換される。該アナログ信号の周波数はアップコンバータ734~736において増大され、かつそのより高い周波数の信号は可変利得増幅器720~722において増幅される。可変利得増幅器

720~722の利得は各々のアンテナに対する重みにしたがって選択される。したがって、送信経路における送信経路重み回路は位相シフト回路724~726および可変利得増幅器720~722を含む。この例では3つの位相シフト回路が示されているが、実際には2つを使用することのみが必要であり、それは絶対位相は重要ではなく、3つの送信経路重み回路の相対位相のみが重要なためである。

【0059】通信装置702の受信経路は、それぞれ、アンテナ728~730から受信された信号の周波数を低減するためのダウンコンバータ740~742を含む。ダウンコンバートされた信号はアナログ-デジタル変換回路744に入力され、該アナログ-デジタル変換回路744はダウンコンバータによって出力された各々の信号からそれぞれのデジタル信号を出力する。該デジタル信号は受信機プロセッサ750において復調される。

【0060】通信装置704は音声およびデータ信号ならびに送信経路における重みW1、W2およびW3を選択するための制御信号を出力するコントローラ752を含む。前記音声およびデータ信号はコーディングおよび変調回路754に入力される。前記重み制御信号は利得および位相シフト回路756に入力され、該利得および位相シフト回路756はコントローラ752からの振幅および位相制御信号を可変利得増幅器758~760および位相シフト回路762~764に結合する。前記送信信号はフレーミングおよび基準発生回路766を介して位相シフト回路762に対し764に入力される。前記フレーミングおよび基準発生回路766はデータおよび音声を送信のためにフレーミングしかつ基準信号を、各々のアンテナ768~770に対し1つずつ、位相シフト回路762~764に結合する。それぞれのベースバンド信号は、各々のアンテナに対し1つずつ、形成され、かつ位相シフト回路762~764によって各々に対し適切な位相シフトが加えられる。位相シフトされた信号はデジタル-アナログ変換回路772においてアナログ信号に変換される。該アナログ信号の周波数はアップコンバータ774~776において増大されかつそのより高い周波数の信号は可変利得増幅器758~760において増幅される。前記可変利得増幅器の利得は各アンテナに対する重みにしたがって選択される。

【0061】通信装置704の受信経路は、それぞれ、アンテナ768~770からの信号に対するダウンコンバータ780~782を含む。ダウンコンバートされた信号はアナログ-デジタル変換回路784に入力され、該アナログ-デジタル変換回路784はダウンコンバータによって出力される信号の各々からそれぞれのデジタル信号を出力する。該デジタル信号は受信機プロセッサ790において復調される。

【0062】通信装置702および704は送信経路が

通信装置702から通信装置704へまたは通信装置704から通信装置702へとすることができるため同じであるものとして示されている。しかしながら、通信装置702および704は異なるものとしてでき、例えば、通信装置702はベースステーションでありかつ通信装置704は無線電話とすることができる。ベースステーションの場合は、送信経路はまた多数の同時的なユーザに対する信号を結合するためのマルチプレクサを含むであろう。ベースステーションの受信経路はまた異なる同時的なユーザからの信号を分離するために、デマルチプレクサを含むであろう。

【0063】送信経路に対する最適の重みの計算につき通信装置702から通信装置704への送信について説明するが、この説明は通信装置704から通信装置702への通信についても同様に適用できる。通信装置702および704は3つのアンテナを有するが、この説明は他の数のアンテナを有するシステムにも同様に適用でき、したがって送信通信装置の送信経路にIのアンテナを有しかつ受信通信装置の受信経路にNのアンテナを有するシステムにも一般的に適用できる。通信装置702から通信装置704への通信に対しては、Iは3に等しくNも3に等しい。

【0064】i番目の送信アンテナからn番目の受信機アンテナで受信された信号の計算または推定された利得および位相は(複素表記で) $c_{i,n}$ およびマトリクスC(N行およびI列を備えた)による全ての組合わせに対する組で表現される。送信機重みベクトル \mathbf{w} によって生成されるアンテナ768~780における推定された利得および位相はしたがって $\mathbf{C}\mathbf{w}$ によって与えられる。重みベクトルはコードブックから次のようにして選択される。

【表4】

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{C}\mathbf{w}_0 \\ \mathbf{t} &= \mathbf{r}^H \mathbf{y} \\ \text{index} &= 0 \end{aligned}$$

do $k=1$ to $K-1$

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{C}\mathbf{w}_k \\ \mathbf{p} &= \mathbf{r}^H \mathbf{y} \end{aligned}$$

if $p > t$ then
index = k
 $t = p$

end if

end do

【0065】通信装置704のコントローラ752はこの方法を使用してマトリクスCを、コードブックにおける第1の重みベクトルである、重みベクトル \mathbf{w}_0 によって乗算することによりベクトル \mathbf{v} を計算する。初期

値 t は \mathbf{w}_0 から得られる前記ベクトル \mathbf{v} から計算される。 t のこの値は、送信機における重みベクトル \mathbf{w}_0 および受信機における信号の最大比結合によって受信機において得られる信号の振幅の推定値を表わす。最大比結合(Maximum ratio combining)は複数のアンテナからの信号を組合わせるよく知られた技術である。ベクトル \mathbf{v} はCおよび重みの各ベクトル \mathbf{w}_k から得られる。コードブックからの各々の重みに対する推定された大きさ p はその重みベクトルに対し \mathbf{v} および \mathbf{v} のエルミート変換(Hermitian transform)を乗算することによって計算される。コントローラ752においてこのようにして測定された最も高い値の p に関連するインデックス k が送信通信装置702に送り戻される。コントローラ714は可変利得増幅器720~722および位相シフト回路724~726を制御して送信されたインデックス番号に対応する重みを持つようにする。

【0066】コントローラ752はこのようにして受信機プロセッサ790の出力における性能を推定または評価する。受信機プロセッサ790の出力はアンテナレイ708のアンテナ768~770の組合わされた出力から得られる。この推定はまたコントローラ752によって決定される受信経路の重みに基づく。

【0067】上で述べたように、受信機に対して最大比結合器が使用される。最適結合(optimum combining)のような他の最適化技術も特に妨害の影響を低減することが望ましい場合にはこれに代えて使用することができる。最適結合は知られた技術である。受信振幅または電力を最大にする代わりに、コントローラ752の比率は妨害プラスノイズに対する所望の信号の比率を最大にすることができる。

【0068】受信通信装置がイコライザ820を含む場合の実施形態につき説明する。これらの実施形態では、図1および図2に示されるように、単一のアンテナを含む受信通信装置および複数のアンテナを有する送信通信装置について説明が行なわれる。

【0069】これらの実施形態では、重みを決定するためにかつ受信経路におけるイコライザ820に対する設定を計算するために基準信号が使用される。受信通信装置に対してイコライザ820を設定する上で受信通信装置によって使用されるべき基準信号を送信することが知られている。現存のシステムでは、該基準信号は係数の設定を単純化するように選択される。

【0070】しかしながら、発明者は送信装置がアンテナアレイを含みかつ受信装置がイコライザを含む場合には、送信される基準信号はアンテナアレイによって大きな利得を維持しながら基準信号に対する送信オーバーヘッドを低減できるよう選択できることを発見した。

【0071】本発明は、アレイにおける各アンテナに対して1つずつ、複数の基準信号を送信することを必要とす

る。通信装置101がベースステーションでありかつ通信装置102が無線電話である場合は、ベースステーションである通信装置101における資源の要求を心配することなく通信装置102の送信経路における重みを選択するために送信オーバーヘッドを最小にする信号を使用することが都合がよい。ベースまたはベースステーションである通信装置101はイコライザ820の値を選択する上で困難な計算を行なうための十分な能力を有し、一方バッテリー寿命を延長するために通信装置102におけるエネルギー要求を最小にすることが有利である。

【0072】これに対し、通信装置101が移動ユニットでありかつ通信装置102がベースである場合は、通信装置101の要求を最小にすることが望ましい。送信要求はベースにとっては重大なことではなくそれはベースはバッテリー寿命を心配することなく信号を放送できるからである。より大きな心配事はその受信経路におけるイコライザ820に対する値を計算する間に携帯用通信装置の資源に関しての消耗である。したがって、もし通信装置101が携帯用通信装置であれば、基準信号はイコライザの設定の計算を単純化することが望ましい。そのために、通信装置101または102の内のどれが無線電話ネットワークのような通信システムにおける携帯用装置であるかに応じて基準信号に対して異なる信号を使用することが考えられる。

【0073】もし通信装置101が無線電話であれば、イコライザの設定の計算を単純化する基準信号は、例えば、GSMのようなシステムにおいて使用される変調されたデータの一部である。図12に基準信号が示されている。図12に示されるように、該基準信号は時間的に充分な間隔をもって分離されてマルチパス遅延に対処できるようにしている。該基準信号の始めおよび終りはランプ期間 (a period of ramping) によって特徴付けられ、したがって電力が瞬時的に変化しないよう構成されている。

【0074】オーバーヘッドを最小にするため、前記基準信号は同期、イコライザ設定のため、および重みベクトル選択の双方のために使用される。さらに、オーバーヘッドを低減するため、前記基準信号はTDMAシステム (例えば、TETRAおよびGSM) において通常使用されるものと異なるように設計されかつ使用される。イコライザ設定とともに重みベクトル選択のために、コードブック手法が使用される。

【0075】イコライザ設定回路802を含むコントローラ回路800が図8に示されている。このコントローラは通信装置702または704において、あるいは双方において使用でき、かつ前記通信装置の一方または双方がイコライザを有する場合に使用される。コントローラ回路800はアンテナアレイを有する他の通信装置におけるアンテナ重みを計算するために受信信号を処理する基準信号プロセッサ回路804を含む。重みベクトル

選択回路806は、表1または表2のような重みのインデックスである、コードブック808に格納された重みインデックスを使用する。重みベクトル選択はイコライザ設定回路802および2進フォーマットおよび符号化回路812に入力される。該2進フォーマットおよび符号化回路は他の通信装置への送信のための情報を出力する。

【0076】送信通信装置は図6に示されるように情報信号および基準信号の双方を送信する。基準信号は各アンテナから別個に送信される。フィードバック系における遅延の影響を最小にするため、前記基準信号は好ましくは情報パケットと隣接しないものとされる。さらに、受信通信装置がイコライザを有し、かつ該イコライザおよびアンテナアレイに対する送信経路重みが同じ基準信号を使用して設定される場合は、各アンテナに対する信号は周波数または符号で区別されるものに対して時間により分離されることが好ましい。

【0077】重みベクトルがイコライザの設定と独立に見いだされかつ次に受信機のイコライザ設定が該重みベクトルから決定される方法をまず説明する。この方法は基準信号が、通信装置101がベースステーションである場合にそうであるように、基準信号がオーバーヘッドを最小にするために選択される場合に適用される。この方法は通信装置においてプリセットされた値を使用する。マトリクスXが通信装置が製造されたとき、作動されたとき、あるいはそれが新しいシステムにおいて使用されている場合に該通信装置内に記憶される。前記マトリクスは次のように計算される。

【数1】

$$X = (Y^H Y)^{-1} Y^H$$

$$Y = \begin{pmatrix} r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & . & . \\ . & . & . & r \\ 0 & 0 & 0 & r \end{pmatrix}$$

この場合、 r は知られた基準信号波形の列ベクトルであり、かつ Y^H は Y のエルミート変換である。

【0078】前記基準信号プロセッサ回路804 (図8)は基準信号の相関マトリクスRを次のように計算しかつ記憶する。

【数2】

$$R = \sum_i s_i s_i^H$$

この場合、 s_i はi番目のアンテナから受信された基準信号であり、かつ s_i^H はi番目のアンテナから受信された基準信号のエルミート変換である。

【0079】重みベクトル選択回路804は次に電力信号pを最大にするためにコードブック808におけるインデックスの各々に対し計算を行ない、この場合pは次のように表わされる。

【数3】

$$p = \mathbf{w}^H \mathbf{R} \mathbf{w}$$

この場合、 \mathbf{w} は候補の重みベクトルを表わし、かつ \mathbf{w}^H は候補の重みベクトルのエルミート変換を表わす。 p の最大の値を生じる重みのインデックスがこのようにして選択される。選択された重みベクトルのインデックスは次に前記2進フォーマットおよび符号化回路812を介してハンドセットに送信される。

【0080】次に選択された重みベクトルから係数が計算される。例えば、最尤シーケンスエスティメータ (Maximum Likelihood Sequence Estimator: MLSE) イコライザにおいて、イコライザ係数が次のようにしてイコライザ設定回路802において得られた設定から発生される。始めに、基準信号が選択された重みによって全てのアンテナから同時に送信されれば受信されるであろう信号の推定値である、ベクトル \mathbf{v} が次のようにして計算される。

【数4】

$$\mathbf{v} = \sum_i w_i \mathbf{v}_i^*$$

この場合、 w_i は選択された重みベクトルの i 番目のエレメントである。イコライザ設定がそこから抽出されるチャンネル推定値 \mathbf{h} が次のように計算される。

【数5】

$$\mathbf{h} = (\mathbf{X} \mathbf{y}) \otimes \mathbf{m}$$

この場合、 \mathbf{m} は送信通信装置におけるフィルタ (図示せず) の変調インパルス応答であり、かつ \otimes の中に \times を有する記号はコンボリューションを表わす。

【0081】このベクトル \mathbf{h} は当業者に知られているように、イコライザ設定がその後に適切な方法で抽出されるシンボルタイミング同期のために使用されている。できるだけ多くの量を予め計算することにより複雑さが最小にされる。

【0082】ある情報パケットに対するイコライザ設定は該情報パケットに対する重みベクトルの選択と同時に見出される。いくつかの状況では、フィードバック経路にかなりの遅延があるかもしれない。これは重みベクトル選択およびイコライザ設定の精度の双方に影響を与える。別の方法では、1つのパケットに対するイコライザ設定は次の情報パケットに対する重みベクトルを得るために使用される基準信号から検出される。これはイコライザ設定の確立の遅延を低減し、かつ重み選択およびイコライザ設定が独立である場合に可能である。

【0083】オーバーヘッドを最小にする基準信号は上に示されたインパルス $(\mathbf{Y}^H \mathbf{Y})^{-1}$ が十分に調整された (well conditioned) ような特性を備えた変調データの一部分である。図12に示されるように、基準信号は充分な間隔をもって時間的に分離されマルチパス遅延を可能にする。基準信号の始めおよび終りはランプ期間によって特徴付けられ、したがって、今日のTDMAシステムのバーストの場合と同様の方法で、電力が瞬時に変化しないよう構成される。

【0084】他の実施形態では、前記重みベクトルはイコライザ設定と組合わせて検出される。この方法はまた、通信装置101がベースである場合に生じる傾向にあるオーバーヘッドを最小にするために基準信号が選択される場合に適用される。この手法はイコライザの長さが該イコライザが全てのマルチパス伝搬を捕えることができないようなものである場合に望ましい。この手法は図9に示されるコントローラ回路900のアーキテクチャを使用する。コントローラ回路900はまたMLSEイコライザと共に使用できる。重みベクトル選択およびイコライザ設定回路902は次の量を使用する。

【数6】

$$\mathbf{X} = (\mathbf{Y}^H \mathbf{Y})^{-1} \mathbf{Y}^H$$

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} \mathbf{r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \mathbf{r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{r} \end{pmatrix}$$

この場合 \mathbf{r} は知られた基準信号波形の列ベクトルである。

【0085】これらの値は前に簡単に説明したように予め計算されかつコントローラ752に記憶される。他の知られたインパルスシーケンスは \mathbf{z} であり、これは \mathbf{z} がインパルス応答 \mathbf{m} (昇降コサインフィルタ (raised cosine filter) のような) を有する変調フィルタ (通信装置102の送信経路における、図示しない、フィルタ) によって波される場合に、結果として得られる波形が \mathbf{r} であるように規定される。コードブック808の値が使用される前に、以下の式が計算されかつ記憶される。

【数7】

$$\mathbf{a} = (\mathbf{X} \mathbf{a}) \otimes \mathbf{m}$$

$$\mathbf{R} = \sum_i \mathbf{a}_i \mathbf{a}_i^H$$

この場合 \mathbf{a}_i は i 番目のアンテナから受信される基準信号である。

インデックス=1、

最小エラー (min_error) = 1, 000, 000.0

$p_{\text{しきい値}} (p_threshold) = 0.7$ のような0.0および1.0の間の数

また、この場合、 \mathbf{c}_i は i 番目の送信アンテナからの組合わされたフィルタおよびチャネル応答の成分を表わす係数のベクトルであり、 \mathbf{m} は送信経路フィルタ (図示せず) の変調インパルス応答であり、かつ \otimes の中に \times を含む記号はコンボリューションを表わす。最小エラーに対する初期値は大きくなるよう選択される。前記 $p_{\text{しきい値}}$ の値は行なわなければならない計算の数を制限するよう選択される。したがって、最も高い電力測定値を有する重みのみが考慮される。前記値0.7は上部3

0%のみが考慮されることに対応する。発明者は、必ずしも最も強力な場合ではないが、信号が強い場合に最も少ないエラーが生じることを見出した。前記重みの候補 (weight candidates) のより大きな、またはより少ない割合を考慮することも可能である。

【0086】Jの候補の重みベクトルに対するコードブック計算が次に以下のようにして行なわれる。

【表5】

do j=1 to J

$p = \mathbf{x}^H \mathbf{R}_j \mathbf{x}$ where \mathbf{x} is the candidate weight vector

if $p > p_threshold$

calculate "error"

if error < min_error then

min_error = error

index=j

end if

end if

end do loop

【0087】イコライザ設定回路902は始めに電力を測定しかつ該電力が前記しきい値より上であるかを判定する。前記しきい値より上の電力測定に対し、前記重みベクトルに対して計算されたイコライザ設定を使用してエラーが計算される。MLSEイコライザに対して、該「エラー」は各々の反復の場合に次のようにして計算される。

【数8】

$$\text{候補インパルス応答 } \mathbf{h} = \sum_i \mathbf{w}_i \mathbf{w}_i^*$$

$$\text{「エラー」} = |\mathbf{h} \otimes \mathbf{z} - \mathbf{z}| / |\mathbf{z}|$$

この場合 \mathbf{x} は次のような構成要素または成分 x_i を備えたベクトルである。

【数9】

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{x}^H \mathbf{a}_i$$

また、 $|\cdot|$ はベクトルノルム (norm.) を表わし、 \mathbf{h} はシンボルタイミング同期プロセスの間に \mathbf{h} から抽出される候補のイコライザ設定を表わし、該同期プロセスはすでに述べたようにイコライゼーションの技術に習熟したものには知られており、かつ $\mathbf{w}_i^* \mathbf{w}_i$ は \mathbf{w}_i の複素共役である。このプロセスは、受信信号の電力を最大にする重みを検出することに対して、エラーを最小にする \mathbf{h} および \mathbf{w} の値を決定することにより品質レベルを最大にする。前記「エラー」はイコライザによ

って出力される信号の品質推定値 (quality estimate) である。

【0088】前記選択された重みベクトルのインデックスが次に2進フォーマットおよび符号化回路812によってハンドセットに送信するために処理される。前記イコライザ設定はイコライザ820における係数を設定するために使用される。

【0089】図10は、4つの送信アンテナを備えた図8のシステムの性能を、2シンボル遅延拡散または広がりチャネルおよび歩行者の速度で、GSM形システムに対するアレイのない場合と比較して示す。このグラフはビットエラー率 (BER) 対デシベル (dB) でのノイズ電力密度に対するビットごとのエネルギーの比率 (E_b/N_0) を示す。カーブ1000はアレイのないエラー保護コーディングのない性能であり、かつアレイを備えた対応する符号化なしの (uncoded) 性能であるカーブ1002と比較されるべきである。7 dBのオーダの利得が達成され、これは移動無線システム内で通話時間または容量の非常に大きな増大を可能にする。カーブ1001はアレイのないエラー保護コーディングによる性能であり、かつアレイを備えた対応する符号化性能であるカーブ1003と比較されるべきである。この場合も同様に7 dBのオーダの利得が達成される。基準信号および重み特定子 (weight specifier) の双方に関するオーバーヘッドの節約は、コードブック、機構に対して、より伝統的な基準信号設計および重みベクトル量子化に対して20%より大きい。

【0090】図11は、アレイ設定およびイコライザ設定を独立に推定することが適切でない特定の場合における図9のコントローラ方法の性能を図8のものと比較して示す。カーブ1005は図8の方法に対するエラー保護コーディングなしの性能を表わし、これは図9の方法に対する符号化なしの性能を表わすカーブ1006と比較されるべきである。カーブ1007は図8の方法に対するエラー保護コーディングを備えた性能を表わし図9の方法に対する符号化された性能を表わすカーブ1008と比較されるべきである。この場合、図9の回路は良好な信号状態で性能上の利点を提供する。

【0091】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、アンテナアレイに対する送信経路重みが送信経路の利得を改善するために調整されることがわかる。送信経路重みは受信通信装置と独立に設定できる。あるいは、受信通信装置は送信通信装置から受信された基準信号に基づき重みを選択できる。コードブックを使用して重みを選択するプロセスを容易に可能とすることができる。受信通信装置がイコライザを含む場合は、イコライザの設定および重みは同じ基準信号から計算でき、それによって送信オーバーヘッドを最小にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】アンテナアレイを有する通信装置を含む通信システムを示すブロック回路図である。

【図2】図1と同様の、しかしながら図1の送信経路に対する送信経路重み回路をより詳細に示すブロック回路図である。

【図3】アンテナアレイを有する通信装置における送信経路利得を設定する方法を示すフローチャートである。

【図4】アンテナアレイを有する通信装置における送信経路利得を設定する方法を示すフローチャートである。

【図5】図4にしたがって動作する通信装置と通信している通信装置の動作方法を示すフローチャートである。

【図6】通信装置間で送信される信号説明図である。

【図7】アンテナアレイを有する2つの通信装置を含む通信システムを示すブロック回路図である。

【図8】受信経路にイコライザを有する通信装置において使用するためのコントローラを示す電気回路図である。

【図9】受信経路にイコライザを有する通信装置において使用するための別のコントローラを示す電気回路図である。

【図10】GSM形式のシステムに対しアレイのない場合と比較して4つの送信アンテナを備えた図8のシステム

の性能を示すグラフである。

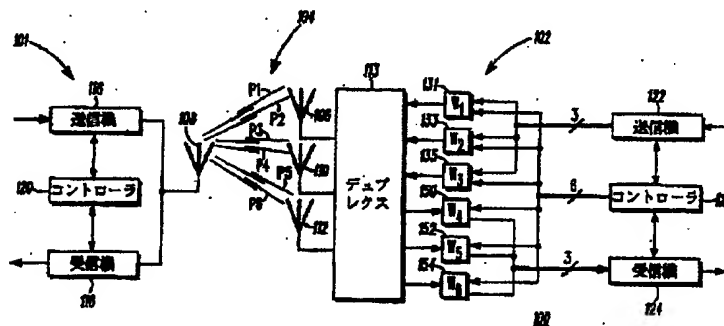
【図11】図8のものと比較して図9のコントローラの方法の性能を示すグラフである。

【図12】イコライザが受信経路において使用される場合の基準信号を示す信号説明図である。

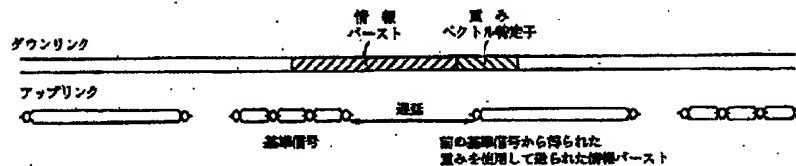
【符号の説明】

100 通信システム
101, 102 通信装置
108, 106, 110, 112 アンテナ
113 デュプレクス回路
116 送信機
118 受信機
120 コントローラ
122 送信機
124 受信機
126 コントローラ
131, 133, 135 送信経路重み回路
150, 152, 154 受信経路重み経路
160 メモリ
230, 232, 234 位相シフト回路
236, 238, 240 可変利得増幅器
250, 252, 254 スイッチ

【図1】



【図6】



```
graph TD; 400[アンテナ106に  
基準信号印加] --> 404[アンテナ110に  
基準信号印加]; 404 --> 406[アンテナ112に  
基準信号印加]; 406 --> 408{重み受信  
?}; 408 -- YES --> 410[重み設定]; 408 -- NO --> 408;
```

```
graph TD; 500[アンテナ106から信号受信] --> 502[アンテナ110から信号受信]; 502 --> 504[アンテナ112から信号受信]; 504 --> 506[送信のために最適の重み計算]; 506 --> 508[最適の重み送信];
```

アンテナ106から信号受信 500

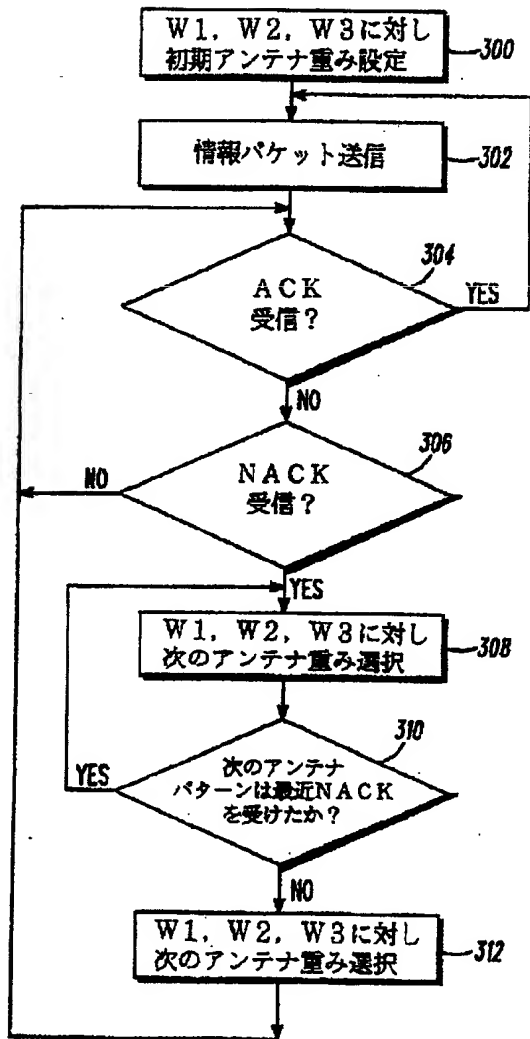
アンテナ110から信号受信 502

アンテナ112から信号受信 504

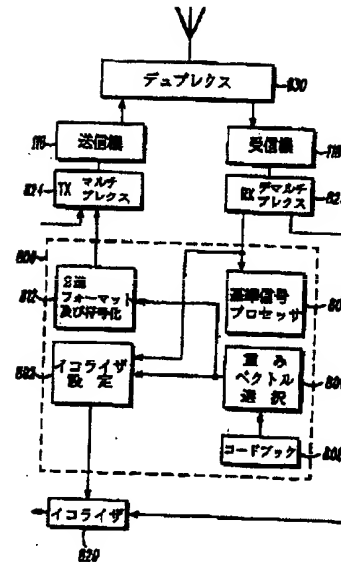
送信のために最適の重み計算 506

最適の重み送信 508

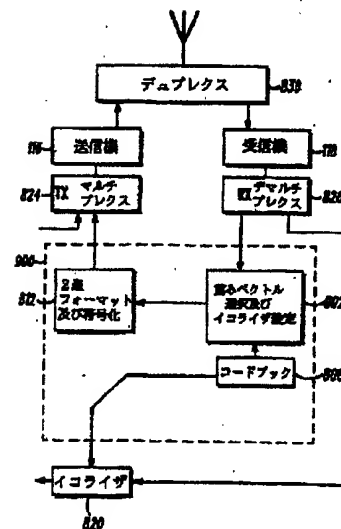
【図3】



【図8】



【図9】



EM% (x)	LOGE-01 (2000)	LOGE-01 (1000)	LOGE-01 (200)	LOGE-01 (100)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
4	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04
8	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08
12	-0.03	-0.06	-0.09	-0.12
16	-0.04	-0.08	-	-0.14
20	-0.05	-0.10	-	-0.16

E_b/N_0 (dB)	BPSK (BER)	QPSK (BER)	8PSK (BER)	16QAM (BER)
0	1.00×10^{-1}	1.00×10^{-1}	1.00×10^{-1}	1.00×10^{-1}
5	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}
10	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-4}
15	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-5}
20	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINE OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)